



(11) **EP 1 496 232 B1**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT**

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des
Hinweises auf die Patenterteilung:
27.08.2008 Patentblatt 2008/35

(51) Int Cl.:
F02D 41/38^(2006.01)

(21) Anmeldenummer: **04015476.7**

(22) Anmeldetag: **01.07.2004**

(54) **Verfahren zur Regelung einer Brennkraftmaschine**

Method for controlling an internal combustion engine

Méthode de commande d'un moteur à combustion interne

(84) Benannte Vertragsstaaten:
FR GB

(30) Priorität: **05.07.2003 DE 10330466**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
12.01.2005 Patentblatt 2005/02

(73) Patentinhaber: **MTU FRIEDRICHSHAFEN GMBH**
88045 Friedrichshafen (DE)

(72) Erfinder: **Dölker, Armin**
88090 Immenstaad (DE)

(56) Entgegenhaltungen:
EP-A- 1 065 372 **JP-A- 2000 297 474**
US-A1- 2003 062 030 **US-B1- 6 311 674**

EP 1 496 232 B1

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents im Europäischen Patentblatt kann jedermann nach Maßgabe der Ausführungsordnung beim Europäischen Patentamt gegen dieses Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Regelung einer Brennkraftmaschine mit einem Common-Rail-Einspritzsystem nach dem Oberbegriff von Anspruch 1.

[0002] Bei einer Brennkraftmaschine mit einem Common-Rail-Einspritzsystem fördert eine Hochdruck-Pumpe den Kraftstoff aus einem Kraftstofftank in einen Hochdruckspeicher. Im weiteren Text wird der Hochdruckspeicher als Rail bezeichnet. Der Förderstrom der Hochdruck-Pumpe wird durch eine Saugdrossel bestimmt. Deren Stellung wiederum wird durch ein elektronisches Steuergerät in Abhängigkeit von Eingangsgrößen vorgegeben, z. B. dem Leistungswunsch. Üblicherweise ist die Ansteuerung der Saugdrossel als PWM-moduliertes Signal mit einer konstanten Frequenz ausgeführt, z. B. 100 Hz. Bedingt durch diese Förderart des Kraftstoffs wird dem Rail folglich ein periodisches Signal eingeprägt. Die Signal-Frequenz entspricht der Frequenz des PWM-Signals. Dem Rail wird periodisch Kraftstoff entnommen, sodass der periodisch schwankende Kraftstoffhochdruck abgetastet wird. Erfolgt die Kraftstoffentnahme z. B. mit einer Frequenz von 99 Hz, so entsteht ein Differenz-Signal von 1 Hz. Dies bedeutet, dass dem Kraftstoffhochdruck ein 1 Hz-Signal überlagert ist.

[0003] Wird die Drehzahl der Brennkraftmaschine langsam erhöht, so entsteht im Bereich um bestimmte Motordrehzahl-Werte ein aufklingendes, symmetrisches Hochdruck-Signal. Im weiteren Text werden diese bestimmten Motordrehzahl-Werte als kritische Drehzahlen bezeichnet. Die Schwingungen des Kraftstoffhochdrucks werden erst dann sichtbar, wenn die Dämpfung des Rails nicht mehr ausreicht, d. h. bei Frequenzen von 0 bis ca. 2 Hz. Diese Druckschwingungen treten immer dann auf, wenn die Einspritzperiode mit der PWM-Frequenz identisch wird. Bei einer 16-zyindrigen Brennkraftmaschine beträgt die Einspritzperiode 45 Grad bezogen auf die Kurbelwelle, d. h. die Kurbelwelle durchläuft diesen Winkel zwischen einer ersten und zweiten Einspritzung. Dieser Winkel entspricht bei der Drehzahl von 750 Umdrehungen je Minute einer Frequenz von 100 Hz. Beträgt die PWM-Frequenz ebenfalls 100 Hz, so klappt das periodisch entstehende Hochdruck-Signal bei dieser kritischen Drehzahl um. Die Druckschwingungen klingen unterhalb der kritischen Drehzahl auf und oberhalb dieser Drehzahl wieder ab. Dasselbe gilt für ganzzahlige Vielfache dieses Drehzahlwerts. Diese Druckschwingungen im Rail sind problematisch, da hierdurch keine konstante Güte der Einspritzung mehr gewährleistet ist.

[0004] Aus der DE 40 20 654 C2 ist ein Regelverfahren für ein PWMgesteuertes Stellglied bekannt. Bei diesem Verfahren wird die Endflanke des PWM-Signals in Abhängigkeit eines Sollwerts verändert. Hierdurch soll auf einen sich rasch verändernden Sollwert, z. B. Fahrpedal-Wert, reagiert werden. Aus der gleichen Fundstelle ist ebenfalls bekannt, die Periode des PWM-Signals in Abhängigkeit des Sollwerts zu verändern. Das zuvor be-

schriebene Problem der Schwingungsanregung wird jedoch durch dieses Regelverfahren nicht entschärft.

[0005] Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zu Grunde die Druckschwingungen im Rail aufgrund äußerer Anregung durch die Saugdrossel zu verringern.

[0006] Die Aufgabe wird durch die Merkmale des Anspruchs 1 gelöst. Die Ausgestaltungen hierzu sind in den Unteransprüchen dargestellt.

[0007] Die Erfindung sieht vor, dass aus dem Winkelabstand zweier Einspritzungen, welcher die Einspritzperiode definiert, sowie der ersten Frequenz des PWM-Signals (Grundfrequenz) eine kritische Drehzahl berechnet wird. In Abhängigkeit der kritischen Drehzahl wird danach ein Drehzahlbereich festgelegt. Bei Motordrehzahl-Werten innerhalb des Drehzahlbereichs wird das PWM-Signal auf eine zweite Frequenz gesetzt. Bei Motordrehzahl-Werten außerhalb des Drehzahlbereichs wird das PWM-Signal auf die erste Frequenz gesetzt. Mit anderen Worten: Das PWM-Signal wird im Bereich der kritischen Drehzahl von der ersten auf die zweite Frequenz umgeschaltet. Für eine steigende Motordrehzahl und für eine fallende Motordrehzahl ist jeweils ein eigener Drehzahlbereich vorgesehen. Ebenso sieht die Erfindung vor, dass die Frequenzumschaltung bei den ganzzahlig Vielfachen der kritischen Drehzahl ausgeführt wird.

[0008] Durch die Umschaltung des PWM-Signals im Bereich um die kritischen Drehzahlen wird der Hochdruck-Regelkreis stabilisiert. Eine zusätzliche Optimierung von Hochdruck-Regelparametern ist hierbei jedoch nicht erforderlich. Der P-, I- und D-Anteil des Hochdruck-Reglers bleiben unverändert. Die Auswirkungen auf die Hysterese der Saugdrossel sind gering, wenn sich die erste und zweite Frequenz nur wenig unterscheiden, z. B. für die erste Frequenz 100 Hz und für die zweite Frequenz 120 Hz. Da die Zeitkonstanten der Regelstrecke, d. h. der Pumpen mit Saugdrossel und des Rails, im Allgemeinen deutlich größer sind als der Kehrwert der ersten und zweiten Frequenz des PWM-Signals, erfolgt das Umschalten auf die zweite Frequenz nahezu störungsfrei. Die Auswirkungen auf den Kraftstoffhochdruck sind folglich minimal. Ganz allgemein bietet die Erfindung den Vorteil, dass sie mit einfachen Mitteln und wenig Aufwand nachträglich in ein elektronisches Steuergerät einer Brennkraftmaschine appliziert werden kann.

[0009] In den Zeichnungen ist ein bevorzugtes Ausführungsbeispiel dargestellt.

[0010] Es zeigen:

- Fig. 1 ein Systemschaubild;
- Fig. 2 einen Hochdruck-Regelkreis;
- Fig. 3 ein Zeitdiagramm;
- Fig. 4 ein Drehzahldiagramm;
- Fig. 5A, B zwei Zustandsdiagramme;
- Fig. 6 einen Programm-Ablaufplan;
- Fig. 7 einen Programm-Ablaufplan;
- Fig. 8 einen Programm-Ablaufplan.

[0011] Die Figur 1 zeigt eine Brennkraftmaschine 1.

Bei der dargestellten Brennkraftmaschine 1 wird der Kraftstoff über ein Common-Rail-System eingespritzt. Dieses umfasst folgende Komponenten: Pumpen 3 mit einer Saugdrossel zur Förderung des Kraftstoffs aus einem Kraftstofftank 2, ein Rail 6 zum Speichern des Kraftstoffs und Injektoren 7 zum Einspritzen des Kraftstoffs aus dem Rail 6 in die Brennräume der Brennkraftmaschine 1.

[0012] Die Betriebsweise der Brennkraftmaschine 1 wird durch ein elektronisches Steuergerät (EDC) 4 geregelt. Das elektronische Steuergerät 4 beinhaltet die üblichen Bestandteile eines Mikrocomputersystems, beispielsweise einen Mikroprozessor, I/O-Bausteine, Puffer und Speicherbausteine (EEPROM, RAM). In den Speicherbausteinen sind die für den Betrieb der Brennkraftmaschine 1 relevanten Betriebsdaten in Kennfeldern/Kennlinien appliziert. Über diese berechnet das elektronische Steuergerät 4 aus den Eingangsgrößen die Ausgangsgrößen. In Figur 1 sind exemplarisch folgende Eingangsgrößen dargestellt: ein Ist-Raildruck $p_{CR}(IST)$, der mittels eines Rail-Drucksensors 5 gemessen wird, ein Drehzahl-Signal n_{MOT} der Brennkraftmaschine 1, eine Eingangsgröße E und ein Signal FW zur Leistungs-Vorgabe durch den Betreiber. Unter der Eingangsgröße E sind beispielsweise der Ladeluftdruck eines Turboladers und die Temperaturen der Kühl-/Schmiermittel und des Kraftstoffs subsumiert.

[0013] In Figur 1 sind als Ausgangsgrößen des elektronischen Steuergeräts 4 ein Signal ADV zur Steuerung der Saugdrossel und eine Ausgangsgröße A dargestellt. Die Ausgangsgröße A steht stellvertretend für die weiteren Stellsignale zur Steuerung und Regelung der Brennkraftmaschine 1, beispielsweise den Einspritzbeginn SB und die Einspritzdauer SD . Das Signal ADV ist in der Praxis als pulsweitenmoduliertes Signal (PWM) ausgeführt.

[0014] In Figur 2 ist ein Hochdruck-Regelkreis dargestellt. Die Eingangsgröße entspricht dem Sollwert des Raildrucks $p_{CR}(SL)$. Die Ausgangsgröße entspricht dem Rohwert des Raildrucks p_{CR} . Aus dem Rohwert des Raildrucks p_{CR} wird mittels eines Filters 12 der Raildruck-Istwert $p_{CR}(IST)$ bestimmt. Dieser wird mit dem Sollwert $p_{CR}(SL)$ an einem Summationspunkt verglichen, woraus die Regelabweichung dp resultiert. Aus der Regelabweichung dp wird mittels eines Hochdruck-Reglers 8 eine Stellgröße berechnet. Die Stellgröße entspricht einem Volumenstrom q_V . Die physikalische Einheit des Volumenstroms kann z. B. Liter/Minute sein. Optional ist vorgesehen, dass zum Volumenstrom q_V der berechnete Sollverbrauch addiert wird. Der Volumenstrom q_V entspricht der Eingangsgröße für eine Begrenzung 9. Die Begrenzung 9 kann drehzahlabhängig ausgeführt sein, Eingangsgröße n_{MOT} . Die Ausgangsgröße $q_V(SL)$ der Begrenzung 9 wird danach in einem Funktionsblock 10 in ein PWM-Signal umgerechnet. Bei der Umrechnung werden Schwankungen der Betriebsspannung und des Kraftstoffvordrucks mitberücksichtigt. Mit dem PWM-Signal wird dann die Magnetspule der Saug-

drossel beaufschlagt. Dadurch wird der Weg des Magnetkerns verändert, wodurch der Förderstrom der Hochdruck-Pumpe frei beeinflusst wird. Die Pumpen 3 mit Saugdrossel und das Rail 6 entsprechen der Regelstrecke 11. Aus dem Rail 6 wird über die Injektoren 7 ein Volumenstrom $q_V(VER)$ abgeführt. Damit ist der Regelkreis geschlossen.

[0015] In Figur 3 ist ein Zeitdiagramm für einen Drehzahl-Hochlauf einer Brennkraftmaschine mit sechzehn Zylindern dargestellt. Bei dieser beträgt die Einspritzperiode 45 Grad bezogen auf die Kurbelwelle. Zu Grunde gelegt wurde bei diesem Zeitdiagramm ein PWM-Signal mit einer ersten Frequenz f_1 von 102.4 Hz. Auf den Ordinaten sind die Werte des Raildrucks p_{CR} und die Werte der Motordrehzahl n_{MOT} aufgetragen. Als Abszisse sind verschiedene Zeitwerte dargestellt. Im Diagramm selber ist der Raildruck-Istwert $p_{CR}(IST)$ und die Motordrehzahl n_{MOT} abgebildet. Der Winkelabstand zwischen zwei Einspritzungen, die Einspritzperiode, ist von der Anzahl der Zylinder der Brennkraftmaschine abhängig. Bei einer 20-zylindrigen Brennkraftmaschine kann der Winkelabstand z. B. 72 Grad betragen.

[0016] Zwischen den Zeitpunkten t_7 und t_8 übersteigt die Motordrehzahl n_{MOT} im Punkt A den Drehzahlwert 768 Umdrehungen/Minute. Dieser Drehzahlwert entspricht einer Einspritzfrequenz von 102.4 Hz. Diese Frequenz wiederum ist identisch mit der ersten Frequenz des PWM-Signals. Der Raildruck-Istwert $p_{CR}(IST)$ zeigt ab dem Zeitpunkt t_6 deutliche Druckschwingungen mit zunehmender Amplitude. Die maximale Amplitude (Spitze/Spitze) beträgt etwa 40 bar. Nach dem Zeitpunkt t_8 verringert sich wieder die Amplitude.

[0017] Aus dem Diagramm der Figur 3 wird deutlich, dass bei Erhöhung der Motordrehzahl n_{MOT} sich im Bereich der kritischen Drehzahl, hier: 768 Umdrehungen/Minute, ein aufklingendes, symmetrisches Hochdrucksignal ausbildet. Die Schwingungen des Raildruck-Istwert $p_{CR}(IST)$ werden dann sichtbar, wenn die Dämpfung des Rails nicht mehr ausreicht, d. h. bei Frequenzen von 0 bis ca. 2 Hz. Höhere Frequenzen als 2 Hz werden vom Rail so stark gedämpft, dass diese kaum noch sichtbar sind. Die Druckschwingungen des Raildruck-Istwert $p_{CR}(IST)$ treten immer dann auf, wenn die Einspritzperiode mit der ersten Frequenz f_1 des PWM-Signals identisch wird. Dies gilt auch für die ganzzahlige Vielfachen der Einspritzperiode. Damit ergeben sich weitere kritische Drehzahlen bei Vielfachen von 768 Umdrehungen/Minute, also bei 1536 und 2304 Umdrehungen/Minute.

[0018] In Figur 4 ist ein Drehzahldiagramm für eine steigende Motordrehzahl (Pfeilrichtung nach rechts) und eine fallende Motordrehzahl (Pfeilrichtung nach links) dargestellt. Eine steigende oder fallende Motordrehzahl kann z. B. anhand des Drehzahl-Gradienten n_{GRAD} identifiziert werden. Die Erfindung sieht nun vor, dass aus der Einspritzperiode und der ersten Frequenz f_1 des PWM-Signals eine kritische Drehzahl n_{KR} berechnet wird. Die kritische Drehzahl n_{KR} entspricht z. B. 768 Umdrehungen/Minute, entsprechend dem Punkt A der Figur

3. In Abhängigkeit der kritischen Drehzahl n_{KR} werden danach ein erster Drehzahlbereich BER1 und ein zweiter Drehzahlbereich BER2 festgelegt. Diese können z. B. 120 Umdrehungen/Minute betragen. Der erste Drehzahlbereich BER1 wird durch einen ersten Grenzwert n_1 und einen zweiten Grenzwert n_2 definiert. Der zweite Drehzahlbereich BER2 wird durch einen dritten Grenzwert n_3 und einen vierten Grenzwert n_4 definiert. Der erste n_1 und dritte Grenzwert n_3 sind auf kleinere Motordrehzahl-Werte als die kritische Drehzahl n_{KR} gesetzt. Der zweite n_2 und vierte Grenzwert n_4 sind auf höhere Motordrehzahl-Werte als die kritische Drehzahl n_{KR} gesetzt. Bei ansteigender Motordrehzahl n_{MOT} wird das PWM-Signal beim ersten Grenzwert n_1 von der ersten Frequenz f_1 auf die zweite Frequenz f_2 umgeschaltet. Bei fallender Motordrehzahl n_{MOT} erfolgt das Zurückschalten auf die erste Frequenz f_1 unterhalb der kritischen Drehzahl n_{KR} erst dann, wenn die Motordrehzahl den dritten Grenzwert n_3 unterschreitet. Der dritte Grenzwert n_3 ist gegenüber dem ersten Grenzwert n_1 um einen ersten Hysteresewert Hyst1 zu kleineren Motordrehzahl-Werten verschoben. Der Wert der ersten Hysterese Hyst1 kann z. B. 20 Umdrehungen/Minute betragen. Sie verhindert ein Hin- und Herschalten zwischen beiden Frequenzen im stationären Betrieb.

[0019] Oberhalb der kritischen Drehzahl n_{KR} wird bei steigender Motordrehzahl n_{MOT} von der zweiten Frequenz f_2 wieder auf die erste Frequenz f_1 zurückgeschaltet, wenn der zweite Grenzwert n_2 überschritten wird. Ein Zurückschalten auf die zweite Frequenz f_2 erfolgt bei fallender Drehzahl erst dann, wenn der vierte Grenzwert n_4 unterschritten wird. Der vierte Grenzwert n_4 ist gegenüber dem dritten Grenzwert n_3 um einen zweiten Hysteresewert Hyst2 zu kleineren Motordrehzahl-Werten verschoben. Insgesamt ergeben sich die zwei Drehzahlbereiche BER1 und BER2, innerhalb derer die zweite Frequenz f_2 gültig ist. Außerhalb dieser Drehzahlbereiche ist die Frequenz des PWM-Signals mit der ersten Frequenz f_1 identisch. Beträgt die erste Frequenz f_1 z. B. 102.4 Hz, so ergibt sich bei einer Einspritzperiode von 45 Grad Kurbelwinkel eine kritische Drehzahl n_{KR} von 768 Umdrehungen/Minute. Bei einer zweiten Frequenz f_2 von 120 Hz würde sich eine kritische Drehzahl n_{KR} von 900 Umdrehungen/Minute ergeben. Wird der erste Grenzwert n_1 auf den Wert 700 Umdrehungen/Minute und der zweite Grenzwert n_2 auf den Wert 820 Umdrehungen/Minute gesetzt, so können sich keine Hochdruckschwingungen ausbilden.

[0020] Die Figuren 5A und 5B verdeutlichen als Zustandsdiagramme nochmals den Umschaltmechanismus von der ersten Frequenz f_1 auf die zweite Frequenz f_2 und umgekehrt.

[0021] Die Figur 5A zeigt, dass für Motordrehzahlen n_{MOT} unterhalb der kritischen Drehzahl n_{KR} von der ersten f_1 auf die zweite Frequenz f_2 umgeschaltet wird, wenn die Motordrehzahl n_{MOT} größer als der erste Grenzwert n_1 wird. Auf die erste Frequenz f_1 wird dann zurückgeschaltet, wenn die Motordrehzahl n_{MOT} kleiner

als der dritte Grenzwert n_3 wird, entsprechend der Differenz des ersten Grenzwerts n_1 und der ersten Hysterese Hyst1.

[0022] Die Figur 5B zeigt, dass für Motordrehzahlen n_{MOT} oberhalb der kritischen Drehzahl n_{KR} von der zweiten f_2 auf die erste Frequenz f_1 umgeschaltet wird, wenn die Motordrehzahl n_{MOT} den zweiten Grenzwert n_2 überschreitet. Auf die zweite Frequenz f_2 wird dann zurückgeschaltet, wenn die Motordrehzahl n_{MOT} kleiner wird als der vierte Grenzwert n_4 , entsprechend der Differenz des zweiten Grenzwerts n_2 minus der zweiten Hysterese Hyst2.

[0023] Die Figur 6 zeigt einen Programm-Ablaufplan. Bei S1 wird die kritische Drehzahl n_{KR} aus dem Winkelabstand zweier Einspritzungen, also der Einspritzperiode, und der ersten Frequenz f_1 des PWM-Signals berechnet. Bei S2 wird geprüft, ob die Motordrehzahl n_{MOT} kleiner als die kritische Drehzahl n_{KR} ist. Ist diese kleiner, so wird bei S3 zum Programm-Ablaufplan der Figur 7 verzweigt. Ist diese größer, so wird bei S4 zum Programm-Ablaufplan der Figur 8 verzweigt.

[0024] In Figur 7 ist ein Programm-Ablaufplan für Motordrehzahlen n_{MOT} unterhalb der kritischen Drehzahl n_{KR} dargestellt. Nach dem Starten der Brennkraftmaschine wird bei S1 ein Merker auf Eins gesetzt. Bei S2 wird danach das PWM-Signal auf die erste Frequenz f_1 gesetzt, z. B. 102.4 Hz. Danach wird bei S3 geprüft, ob der Merker den Wert Eins hat. Ist dies der Fall, so wird bei S4 geprüft, ob die Motordrehzahl n_{MOT} den ersten Grenzwert n_1 überschritten hat. Ist dies der Fall, so wird die Frequenz des PWM-Signals auf die zweite Frequenz f_2 gesetzt, Schritt S5. Das PWM-Signal wird also umgeschaltet. Bei S6 wird anschließend der Merker auf den Wert Null gesetzt und zum Punkt A verzweigt. Ist die Abfrage bei S4 negativ, so wird unmittelbar zum Punkt A verzweigt.

[0025] Ergibt die Prüfung bei S3, dass der Merker den Wert Null hat, so wird bei Schritt S7 geprüft, ob die Motordrehzahl n_{MOT} den dritten Grenzwert n_3 unterschreitet, entsprechend der Differenz des ersten Grenzwerts n_1 minus der ersten Hysterese Hyst1. Ist dies der Fall, so wird die Frequenz des PWM-Signals wieder auf den Wert f_1 gesetzt, Schritt S8. Im Schritt S9 wird anschließend der Merker wieder auf den Wert Eins gesetzt und zum Punkt A zurückverzweigt. Ist die Abfrage bei S7 negativ, so wird unmittelbar zum Punkt A verzweigt.

[0026] In Figur 8 ist ein Programm-Ablaufplan für Motordrehzahlen n_{MOT} oberhalb der kritischen Drehzahl n_{KR} dargestellt. Zunächst wird ein Merker auf den Wert Eins gesetzt. Bei S2 wird das PWM-Signal auf die zweite Frequenz f_2 gesetzt. Beim S3 wird geprüft, ob der Merker den Wert Eins hat. Ist dies der Fall, so wird bei S4 geprüft, ob die Motordrehzahl n_{MOT} den zweiten Grenzwert n_2 überschreitet. Bei positivem Ergebnis wird das PWM-Signal auf die erste Frequenz f_1 gesetzt und der Merker auf den Wert Null gesetzt, S5 und S6. Anschließend wird zum Programmpunkt A verzweigt. Ist die Abfrage bei S4 negativ, so wird unmittelbar zum Punkt A verzweigt.

[0027] Ergibt die Prüfung bei S3, dass der Merker den Wert Null hat, so wird bei S7 geprüft, ob die Motordrehzahl n_{MOT} kleiner als der vierte Grenzwert n_4 ist, entsprechend der Differenz aus zweitem Grenzwert n_2 minus der zweiten Hysterese $Hyst_2$. Ist dies der Fall, so wird bei S8 das PWM-Signal auf die zweite Frequenz f_2 gesetzt und der Merker auf den Wert Eins gesetzt, S9. Danach wird wieder zum Programmpunkt A verzweigt. Ist die Abfrage bei S7 negativ, so wird unmittelbar zum Punkt A verzweigt.

[0028] Aus der vorigen Beschreibung ergeben sich für die Erfindung folgende Vorteile:

- Durch die Umschaltung der Frequenz des PWM-Signals wird das Entstehen von Hochdruckschwingungen im Rail verhindert.
- Da sich die beiden Frequenz-Werte des PWM-Signals nur geringfügig unterscheiden, sind die Auswirkungen auf die Hysterese der Saugdrossel gering.
- Zur Stabilisierung des Hochdruck-Regelkreises in den kritischen Drehzahlbereichen ist keine weitere Optimierung von Hochdruck-Regelparametern notwendig.
- Da die Zeitkonstanten der Regelstrecke (Pumpen mit Saugdrossel und Rail) im Allgemeinen deutlich größer sind als der Kehrwert der PWM-Frequenz, erfolgt das Umschalten von der ersten Frequenz auf die zweite Frequenz und vice versa nahezu störungsfrei, d. h. ohne Auswirkung auf den Kraftstoffhochdruck.

Bezugszeichen

[0029]

- 1 Brennkraftmaschine
- 2 Kraftstofftank
- 3 Pumpen mit Saugdrossel
- 4 Elektronisches Steuergerät (EDC)
- 5 Rail-Drucksensor
- 6 Rail
- 7 Injektor
- 8 Hochdruck-Regler
- 9 Begrenzung
- 10 Funktionsblock
- 11 Regelstrecke
- 12 Filter

Patentansprüche

1. Verfahren zur Regelung einer Brennkraftmaschine (1) mit Common-Rail-Einspritzsystem, bei dem aus einem Istwert ($p_{CR}(IST)$) und einem Sollwert ($p_{CR}(SL)$) des Raildrucks mittels eines Hochdruck-Reglers (8) eine Stellgröße berechnet wird, in Abhängigkeit der Stellgröße ein PWM-Signal mit einer kon-

stanten, ersten Frequenz (f_1) zur Ansteuerung der Regelstrecke (11) mit Saugdrossel bestimmt wird, bei dem aus dem Winkelabstand (Φ) zweier Einspritzungen sowie der ersten Frequenz (f_1) des PWM-Signals eine kritische Drehzahl (n_{KR}) berechnet wird ($n_{KR}=f(\Phi, f_1)$), in Abhängigkeit der kritischen Drehzahl (n_{KR}) ein Drehzahlbereich (BER) festgelegt wird, bei Motordrehzahl-Werten (n_{MOT}) außerhalb des Drehzahlbereichs (BER) das PWM-Signal auf die erste Frequenz (f_1) gesetzt wird und bei Motordrehzahl-Werten (n_{MOT}) innerhalb des Drehzahlbereichs (BER) das PWM-Signal auf eine zweite Frequenz (f_2) gesetzt wird, wobei der Drehzahlbereich (BER) einem ersten Drehzahlbereich (BER1) entspricht, der bei steigender Motordrehzahl (n_{MOT}) gesetzt wird, und der Drehzahlbereich (BER) einem zweiten Drehzahlbereich (BER2) entspricht, der bei fallender Motordrehzahl gesetzt wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1,

dadurch gekennzeichnet,

dass der erste Drehzahlbereich (BER1) über einen ersten Grenzwert (n_1) und einen zweiten Grenzwert (n_2) definiert wird.

3. Verfahren nach Anspruch 2,

dadurch gekennzeichnet,

dass der erste Grenzwert (n_1) unterhalb der kritischen Drehzahl (n_{KR}) liegt ($n_1 < n_{KR}$) und der zweite Grenzwert (n_2) oberhalb der kritischen Drehzahl (n_{KR}) liegt ($n_2 > n_{KR}$).

4. Verfahren nach Anspruch 3,

dadurch gekennzeichnet,

dass das PWM-Signal von der ersten (f_1) auf die zweite Frequenz (f_2) umgeschaltet wird, wenn die Motordrehzahl (n_{MOT}) größer als der erste Grenzwert (n_1) des ersten Bereichs (BER1) wird ($n_{MOT} > n_1$) und von der zweiten (f_2) auf die erste Frequenz (f_1) umgeschaltet wird, wenn die Motordrehzahl (n_{MOT}) größer als der zweite Grenzwert (n_2) des ersten Bereichs (BER1) wird ($n_{MOT} > n_2$).

5. Verfahren nach Anspruch 1,

dadurch gekennzeichnet,

dass der zweiten Drehzahlbereich (BER2) über einen dritten Grenzwert (n_3) und einen vierten Grenzwert (n_4) definiert wird.

6. Verfahren nach Anspruch 2 und Anspruch 5,

dadurch gekennzeichnet,

dass der zweite Drehzahlbereich (BER2) gegenüber dem ersten Drehzahlbereich (BER1) um einen Hysteresewert ($Hyst$) zu kleinen Motordrehzahl-Werten verschoben wird.

7. Verfahren nach Anspruch 2 und Anspruch 5,

dadurch gekennzeichnet,

dass der dritte Grenzwert (n_3) aus dem ersten Grenzwert (n_1) minus einem ersten Hysteresewert (Hyst1) berechnet wird ($n_3 = n_1 - \text{Hyst1}$) und der vierte Grenzwert (n_4) aus dem zweiten Grenzwert (n_2) minus einem zweiten Hysteresewert (Hyst2) berechnet wird ($n_4 = n_2 - \text{Hyst2}$).

8. Verfahren nach Anspruch 6 oder Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet**, **dass** das PWM-Signal von der ersten (f_1) auf die zweite Frequenz (f_2) umgeschaltet wird, wenn die Motordrehzahl (n_{MOT}) kleiner als der vierte Grenzwert (n_4) des zweiten Bereichs (BER2) wird ($n_{\text{MOT}} < n_4$) und von der zweiten (f_2) auf die erste Frequenz (f_1) umgeschaltet wird, wenn die Motordrehzahl (n_{MOT}) kleiner als der dritte Grenzwert (n_3) des zweiten Bereichs (BER2) wird ($n_{\text{MOT}} < n_3$).
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, **dadurch gekennzeichnet**, **dass** die ganzzahlig Vielfachen ($n_{\text{KR}}(i)$, $i = 2, 3 \dots$) der kritischen Drehzahl (n_{KR}) berechnet werden.
10. Verfahren nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet**, **dass** bei den ganzzahlig Vielfachen ($n_{\text{KR}}(i)$) der kritischen Drehzahl (n_{KR}) eine Umschaltung der Frequenz des PWM-Signals nach einem der Ansprüche 1 bis 8 erfolgt.

Claims

1. Method for controlling an internal combustion engine (1) with a common rail injection system, in which a manipulated variable is calculated from an actual value ($p_{\text{CR}}(\text{ACT})$) and a setpoint value ($p_{\text{CR}}(\text{SL})$) of the rail pressure by means of a high pressure controller (8), a PWM signal with a constant, first frequency (f_1) for actuating the controlled system (11) with an intake throttle is determined as a function of the manipulated variable, in which a critical rotational speed (n_{KR}) is calculated ($n_{\text{KR}} = f(\Phi, f_1)$) from the angle interval (Φ) between two injections and from the first frequency (f_1) of the PWM signal, a rotational speed range (BER) is defined as a function of the critical rotational speed (n_{KR}), and in the case of motor rotational speed values (n_{MOT}) outside the rotational speed range (BER) the PWM signal is set to the first frequency (f_1), and in the case of motor rotational speed values (n_{MOT}) within the rotational speed range (BER) the PWM signal is set to a second frequency (f_2), wherein the rotational speed range (BER) corresponds to a first rotational speed range (BER1) which is set when the motor rotational speed (n_{MOT}) is rising, and the rotational speed range (BER) corresponds to a second rotational speed range (BER2) which is set when the motor rotational

speed is dropping.

2. Method according to Claim 1, **characterized in that** the first rotational speed range (BER1) is defined by means of a first limiting value (n_1) and a second limiting value (n_2).
3. Method according to Claim 2, **characterized in that** the first limiting value (n_1) is below the critical rotational speed (n_{KR}), ($n_1 < n_{\text{KR}}$), and the second limiting value (n_2) is above the critical rotational speed (n_{KR}), ($n_2 > n_{\text{KR}}$).
4. Method according to Claim 3, **characterized in that** the PWM signal is switched over from the first frequency (f_1) to the second frequency (f_2) if the motor rotational speed (n_{MOT}) is higher than the first limiting value (n_1) of the first range (BER1), ($n_{\text{MOT}} > n_1$), and is switched over from the second frequency (f_2) to the first frequency (f_1) if the motor rotational speed (n_{MOT}) is higher than the second limiting value (n_2) of the first range (BER1), ($n_{\text{MOT}} > n_2$).
5. Method according to Claim 1, **characterized in that** the second rotational speed range (BER2) is defined by means of a third limiting value (n_3) and a fourth limiting value (n_4).
6. Method according to Claim 2 and Claim 5, **characterized in that** the second rotational speed range (BER2) is shifted by a hysteresis value (Hyst) towards small motor rotational speed values compared to the first rotational speed range (BER1).
7. Method according to Claim 2 and Claim 5, **characterized in that** the third limiting value (n_3) is calculated from the first limiting value (n_1) minus a first hysteresis value (Hyst1), ($n_3 = n_1 - \text{Hyst1}$), and the fourth limiting value (n_4) is calculated from the second limiting value (n_2) minus a second hysteresis value (Hyst2), ($n_4 = n_2 - \text{Hyst2}$).
8. Method according to Claim 6 or Claim 7, **characterized in that** the PWM signal is switched over from the first frequency (f_1) to the second frequency (f_2) if the motor rotational speed (n_{MOT}) is lower than the fourth limiting value (n_4) of the second range (BER2), ($n_{\text{MOT}} < n_4$), and is switched over from the second frequency (f_2) to the first frequency (f_1) if the motor rotational speed (n_{MOT}) is lower than the third limiting value (n_3) of the second range (BER2), ($n_{\text{MOT}} < n_3$).
9. Method according to one of Claims 1 to 8, **characterized in that** the integral multiples ($n_{\text{KR}}(i)$, $i = 2, 3 \dots$) of the critical rotational speed (n_{KR}) are calculated.

10. Method according to Claim 9, **characterized in that** in the case of the integral multiples ($n_{KR(i)}$) of the critical rotational speed (n_{KR}), the frequency of the PWM signal is switched over according to one of Claims 1 to 8.

Revendications

1. Procédé de régulation d'un moteur à combustion interne (1) équipé d'un système d'injection à rampe de distribution commune, avec lequel une grandeur de commande est calculée au moyen d'un régulateur de haute pression (8) à partir d'une valeur réelle ($p_{CR(IST)}$) et d'une valeur de consigne ($p_{CR(SL)}$) de la pression de rampe, un signal PWM présentant une première fréquence (1) constante est calculé en fonction de la grandeur de commande pour commander la section régulée (11) comprenant l'électrovanne d'aspiration, avec lequel une vitesse de rotation critique (n_{KR}) est calculée ($n_{KR} = f(\Phi, f_1)$) à partir de la différence angulaire (Φ) de deux injections ainsi que de la première fréquence (f_1) du signal PWM, une plage de vitesses de rotation (BER) est définie en fonction de la vitesse de rotation critique (n_{KR}), le signal PWM étant accordé sur la première fréquence en présence de valeurs de la vitesse de rotation du moteur (n_{MOT}) qui se trouvent en dehors de la plage de vitesses de rotation (BER) et le signal PWM étant accordé sur une deuxième fréquence en présence de valeurs de la vitesse de rotation du moteur (n_{MOT}) qui se trouvent à l'intérieur de la plage de vitesses de rotation (BER), la plage de vitesses de rotation (BER) correspondant à une première plage de vitesses de rotation (BER1) qui est adoptée en présence d'une vitesse de rotation croissante du moteur (n_{MOT}) et la plage de vitesses de rotation (BER) correspondant à une deuxième plage de vitesses de rotation (BER2) qui est adoptée en présence d'une vitesse de rotation décroissante du moteur.
2. Procédé selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** la première plage de vitesses de rotation (BER1) est définie par une première valeur limite (n_1) et une deuxième valeur limite (n_2).
3. Procédé selon la revendication 2, **caractérisé en ce que** la première valeur limite (n_1) est inférieure à la vitesse de rotation critique (n_{KR}) ($n_1 < n_{KR}$) et la deuxième valeur limite (n_2) est supérieure à la vitesse de rotation critique (n_{KR}) ($n_2 > n_{KR}$).
4. Procédé selon la revendication 3, **caractérisé en ce que** le signal PWM est permuté de la première (f_1) sur la deuxième fréquence (f_2) lorsque la vitesse de rotation du moteur (n_{MOT}) est supérieure à la première valeur limite (n_1) de la première plage

(BER1) ($n_{MOT} > n_1$) et de la deuxième (f_2) sur la première fréquence (f_1) lorsque la vitesse de rotation du moteur (n_{MOT}) est supérieure à la deuxième valeur limite (n_2) de la première plage (BER1) ($n_{MOT} > n_2$).

5. Procédé selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** la deuxième plage de vitesses de rotation (BER2) est définie par une troisième valeur limite (n_3) et une quatrième valeur limite (n_4).
6. Procédé selon la revendication 2 et la revendication 5, **caractérisé en ce que** la deuxième plage de vitesses de rotation (BER2) est décalée par rapport à la première plage de vitesses de rotation (BER1) d'une valeur d'hystérésis (Hyst) vers des valeurs faibles de la vitesse de rotation du moteur.
7. Procédé selon la revendication 2 et la revendication 5, **caractérisé en ce que** la troisième valeur limite (n_3) est calculée à partir de la première valeur limite (n_1) moins une première valeur d'hystérésis (Hyst1) ($n_3 = n_1 - \text{Hyst1}$) et la quatrième valeur limite (n_4) est calculée à partir de la deuxième valeur limite (n_2) moins une deuxième valeur d'hystérésis (Hyst2) ($n_4 = n_2 - \text{Hyst2}$).
8. Procédé selon la revendication 6 ou la revendication 7, **caractérisé en ce que** le signal PWM est permuté de la première (f_1) sur la deuxième fréquence (f_2) lorsque la vitesse de rotation du moteur (n_{MOT}) est inférieure à la quatrième valeur limite (n_4) de la deuxième plage (BER2) ($n_{MOT} < n_4$) et de la deuxième (f_2) sur la première fréquence (f_1) lorsque la vitesse de rotation du moteur (n_{MOT}) est inférieure à la troisième valeur limite (n_3) de la deuxième plage (BER2) ($n_{MOT} < n_3$).
9. Procédé selon l'une des revendications 1 à 8, **caractérisé en ce que** les multiples entiers ($n_{KR(i)}$, $i = 2, 3, \dots$) de la vitesse de rotation critique (n_{KR}) sont calculés.
10. Procédé selon la revendication 9, **caractérisé en ce qu'**une permutation de la fréquence du signal PWM selon l'une des revendications 1 à 8 s'effectue aux multiples entiers ($n_{KR(i)}$) de la vitesse de rotation critique (n_{KR}).

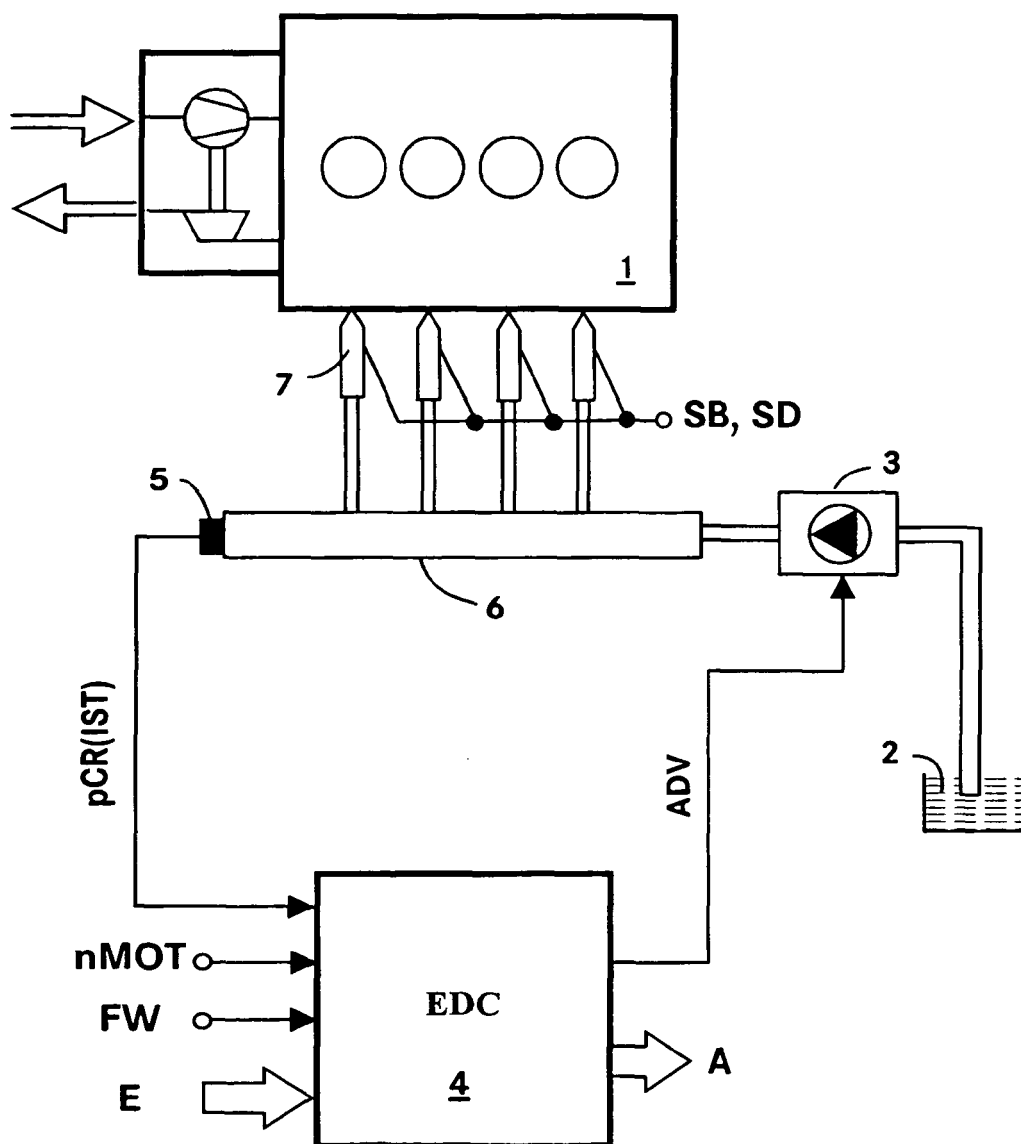


Fig. 1

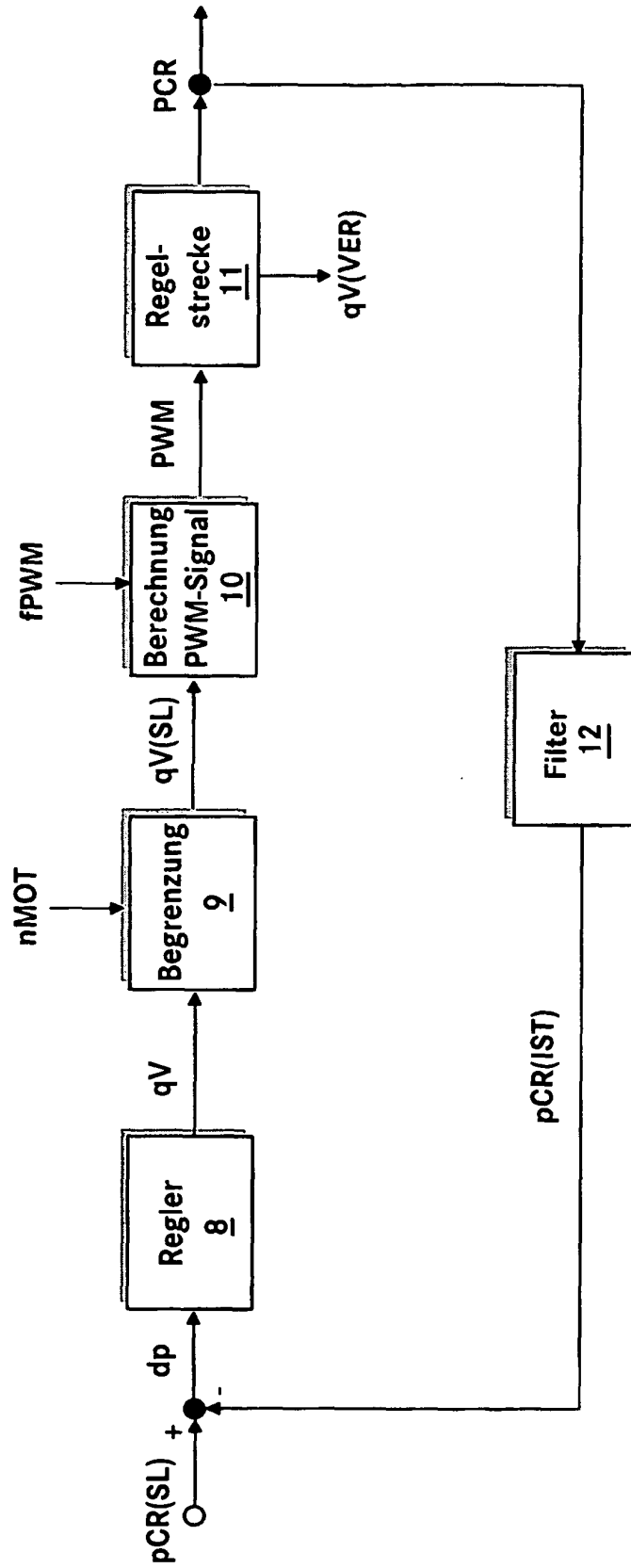


Fig. 2

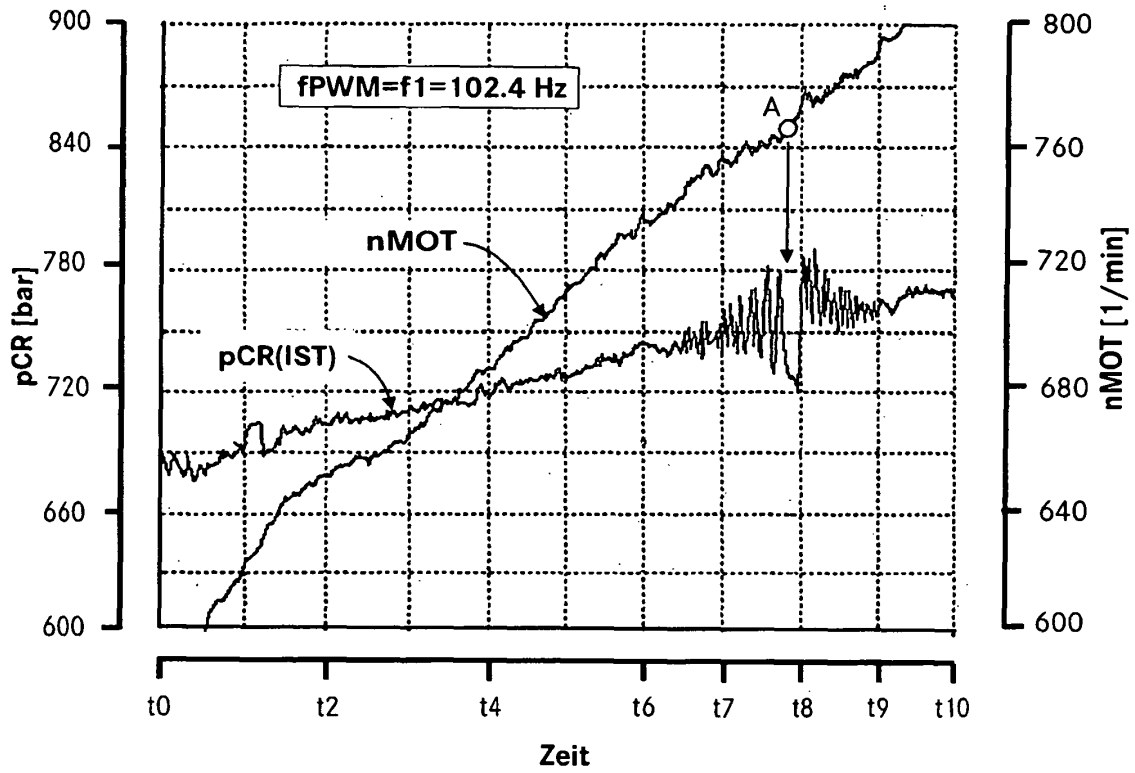


Fig. 3

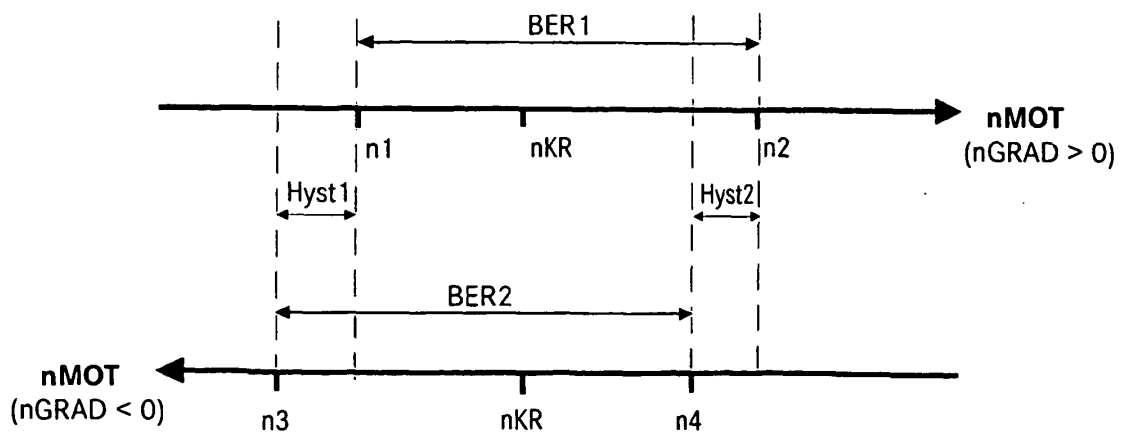


Fig. 4

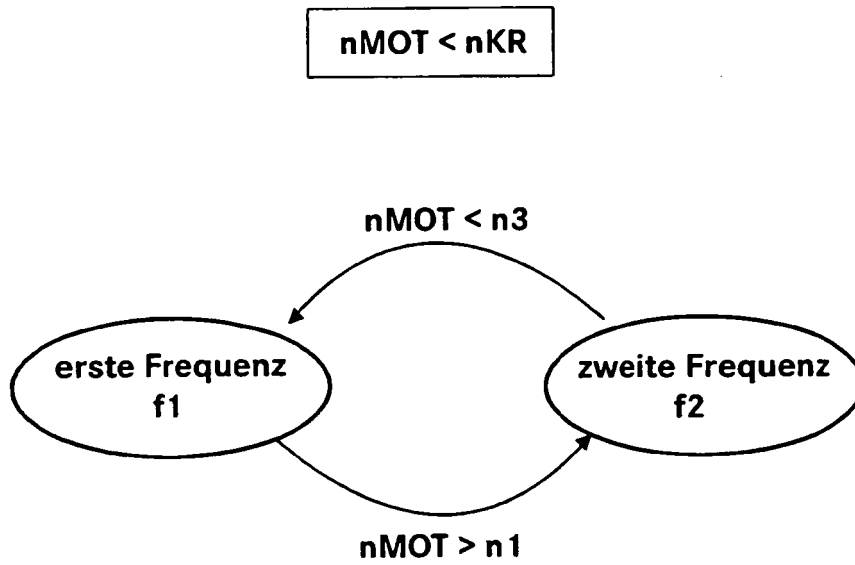


Fig. 5A

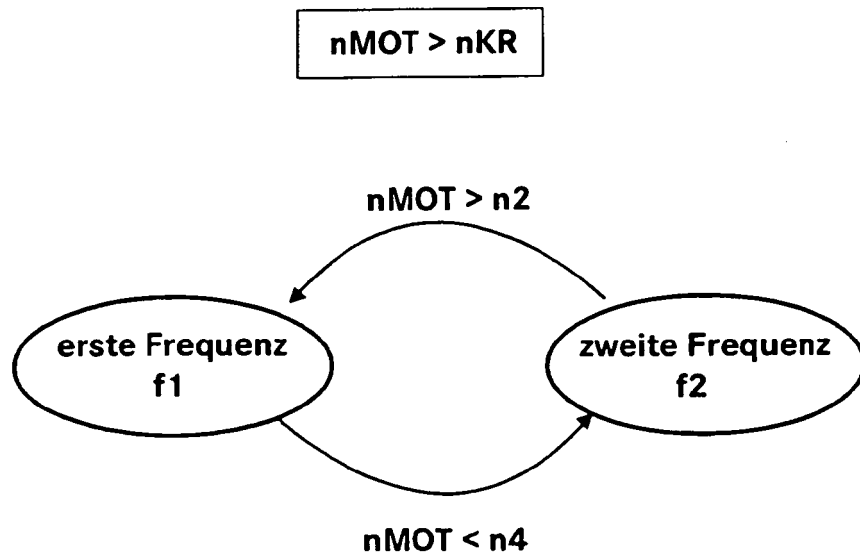
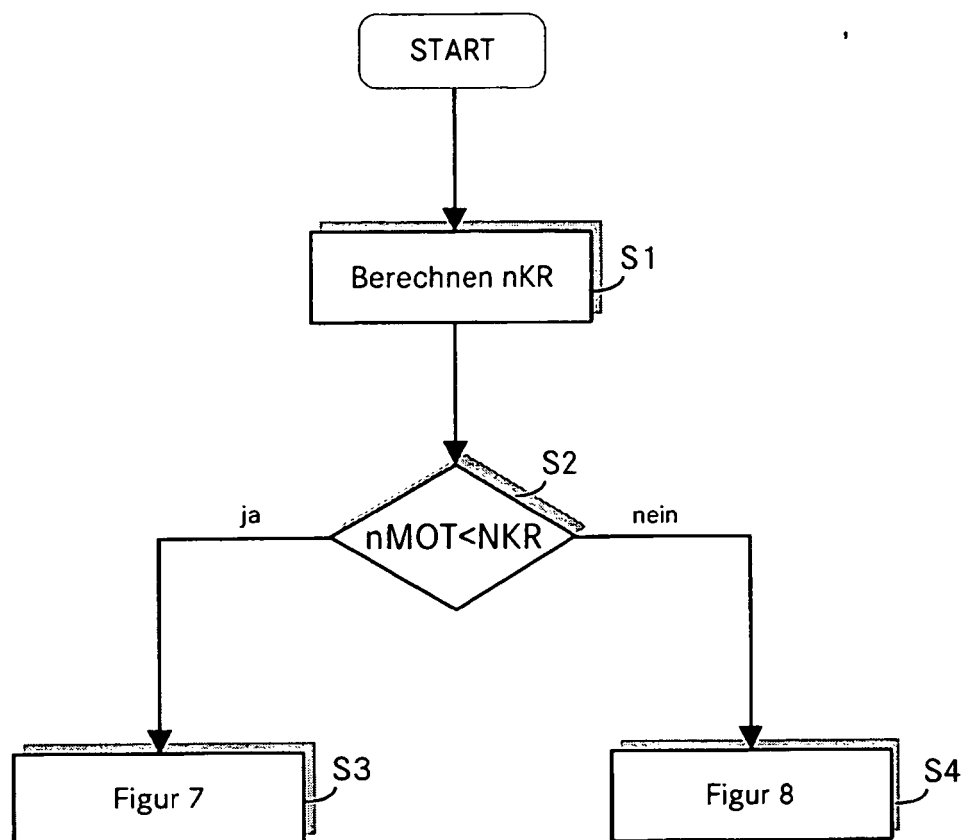


Fig. 5B

**Fig. 6**

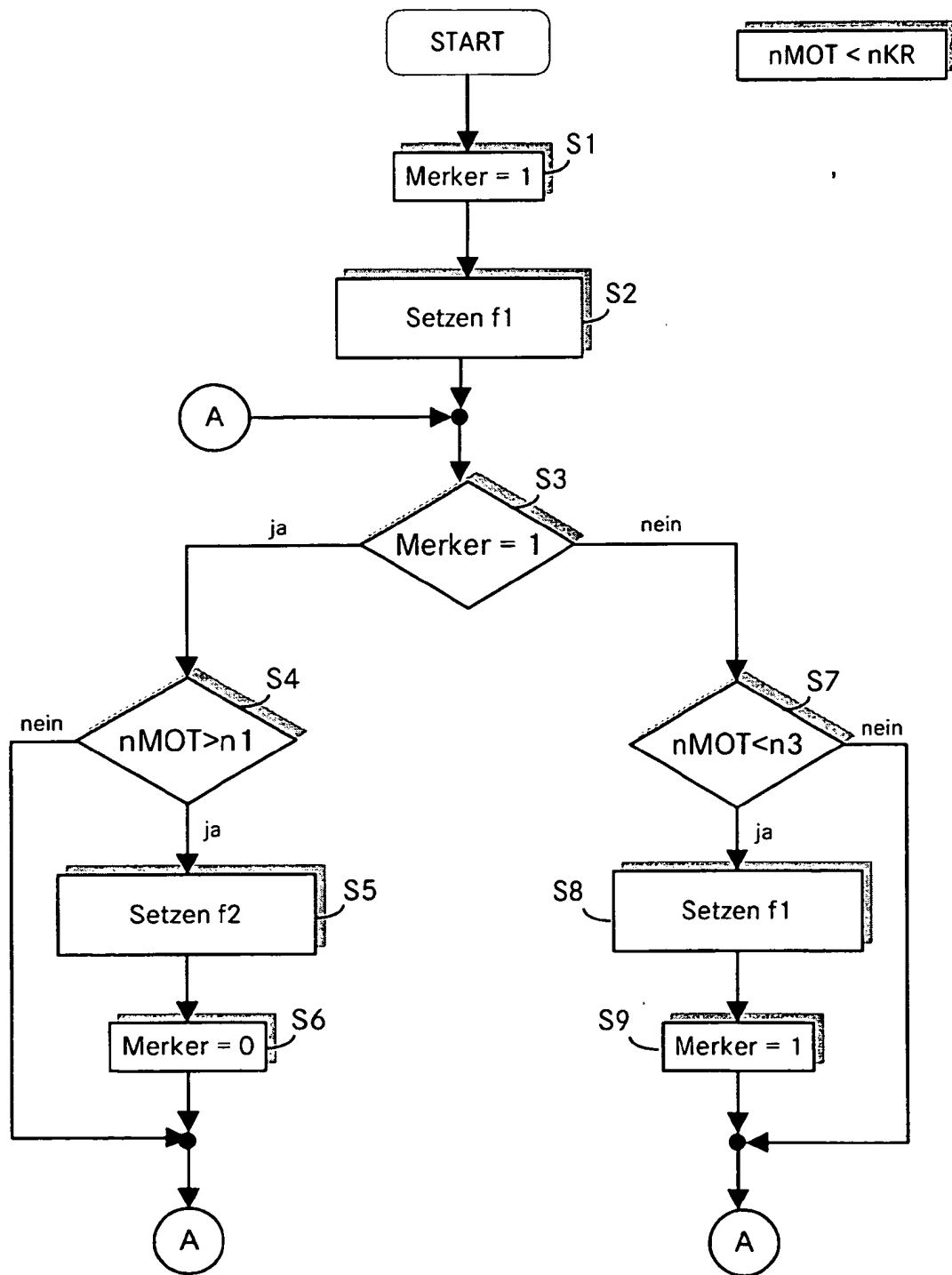


Fig. 7

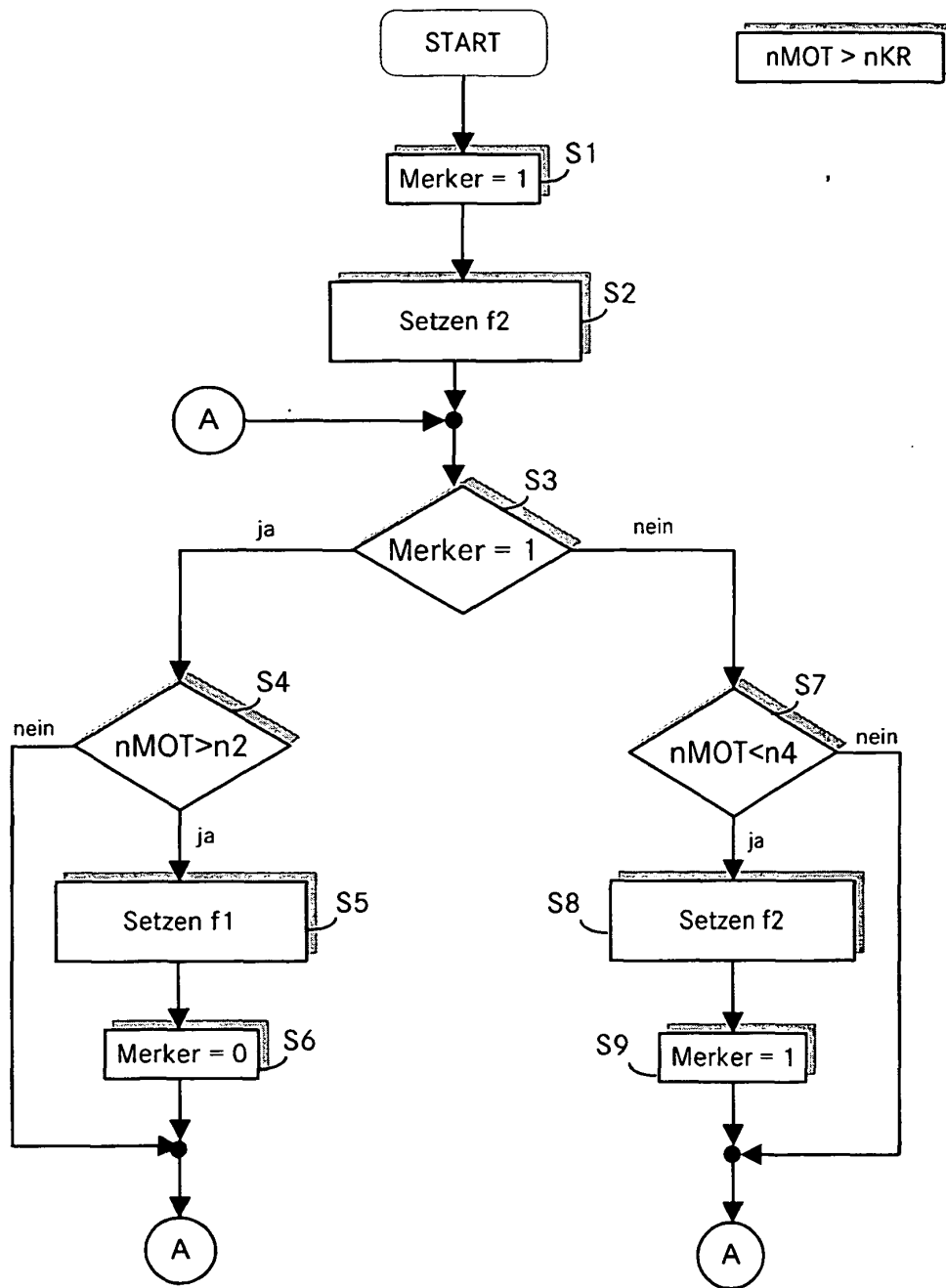


Fig. 8

IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- DE 4020654 C2 [0004]